付録A

FTTR-VDSL → ユーザビル設置VDSL への異レベル遠端漏話干渉について

(1) 干渉モデル 〜 UPBOなしの状態

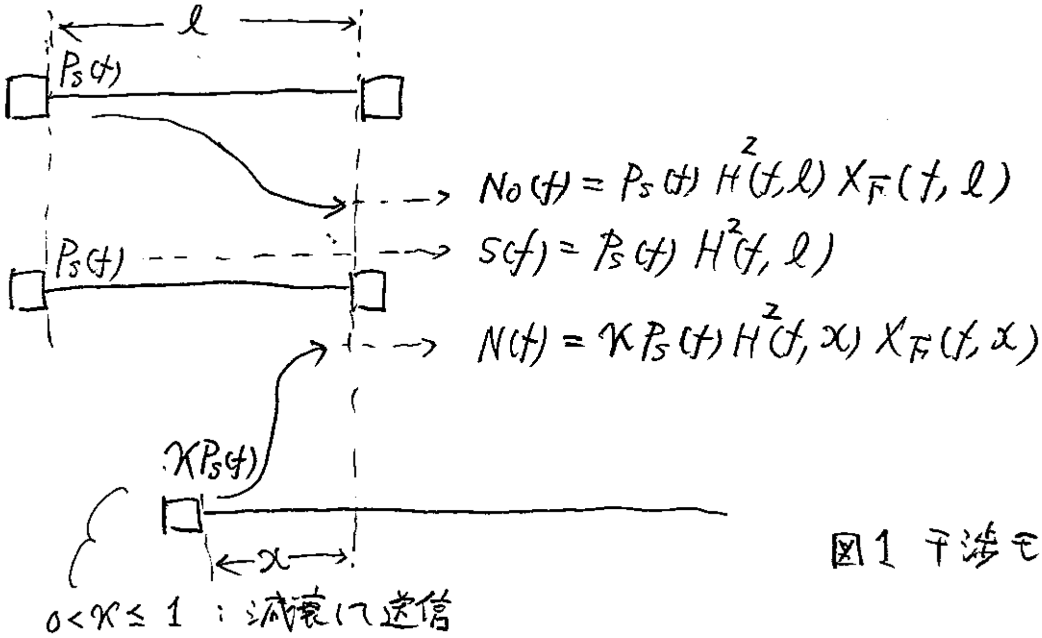

図1 干渉モデル

(2) 異レベル結合による最悪S/N劣化量とその時のx値

$$
\begin{aligned}
N(f) &= \kappa P_S(f)\, H^2(f, x)\, X_F(f, x) \\
&= P_S(f)\, H^2(f, l)\, X_F(f, l) \cdot \kappa H^2(f, x-l)\, \frac{x}{l} \\
&= N_0(f) \cdot \underbrace{\kappa H^2(f, x-l)\, \frac{x}{l}}_{\varphi(x)}
\end{aligned}
$$

但し $0 \leq x \leq l$ (1)

ここで

$$\varphi(x) \triangleq \kappa H^2(f, x-l)\, \frac{x}{l} \qquad (2)$$

と置くと

$$\varphi(x) = \frac{\kappa x}{l}\, e^{2\alpha(l-x)} \qquad (3)$$

$$
\begin{aligned}
\frac{d}{dx}\varphi(x) &= \frac{\kappa}{l}\left\{ e^{2\alpha(l-x)} + x(-2\alpha)\, e^{2\alpha(l-x)} \right\} \\
&= \frac{\kappa}{l}\, e^{2\alpha(l-x)}\, (1 - 2\alpha x)
\end{aligned}
\qquad (4)
$$

前回資料SMS-adhoc-NTT02(060728)ではこの部分に誤記あり、結果は変化なしだが

$\frac{d}{dx}\varphi(x) = 0$ の時 $x = \frac{1}{2\alpha}$ (5)

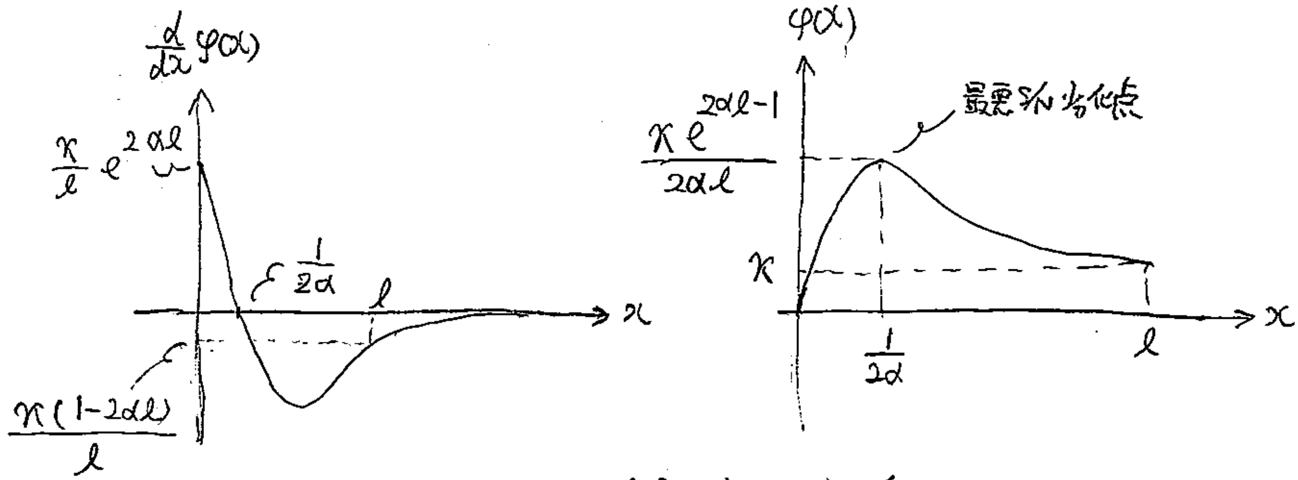

図2　異レベル結合S/N劣化の傾向

一方, 図1, 式(1)から,

$$SNR(f) \triangleq \frac{S(f)}{N(f)} = \frac{S(f)}{N_0(f)\,\varphi(x)} = \frac{S(f)}{N_0(f)} \cdot \frac{1}{\varphi(x)} \quad \cdots (6)$$

（$\frac{S(f)}{N_0(f)}$：等レベル直結漏話結合時のS/N）

(3) 異レベル結合による最悪S/N値を等レベル結合時S/N値と同一にするには

式(6)において

$$\varphi(x) \leq 1$$

とすれば

$$SNR(f) \geq \frac{S(f)}{N_0(f)}$$

となり, 異レベル結合によるS/N劣化はなくなる

さて

- $l \geq \frac{1}{2\alpha}$ の時

$$\varphi(x) \leq \max[\varphi(x)] = \varphi\left(\frac{1}{2\alpha}\right) = \frac{K e^{2\alpha l - 1}}{2\alpha l} \leq 1$$

$$\therefore \quad K \leq 2\alpha l e^{1-2\alpha l} \qquad 但し \quad \frac{1}{2\alpha} \leq l$$

- $l < \frac{1}{2\alpha}$ の時

$\varphi(x)$ は $x \leq \frac{1}{2\alpha}$ で単調増加だから

$$\varphi(x) \leq \max[\varphi(x)] = \varphi(l) = K \leq 1$$

以上から、異レベル結合による S/N 劣化を避けるためには

$$\left.\begin{array}{ll} 0 \leq l < \frac{1}{2\alpha} \text{ の時} & K = 1 \\ \frac{1}{2\alpha} \leq l \text{ の時} & K \leq 2\alpha l e^{1-2\alpha l} \end{array}\right\} \quad (7)$$

K の計算結果を図3に示す。

(4) ユーザビル設置VDSLのUPBOを考慮した場合のFTTR-VDSL上り送信PSD最大値

ユーザビル設置VDSLの上り送信PSD(ノミナル値)は以下のとおり。
G.993.2 Annex C によれば

・l_{min}なしの時

$$\left.\begin{aligned} US1\text{-}PSD &= \min\left[-60,\ -60 + K_1(l - l_{ref1})\sqrt{f}\right] \\ US2\text{-}PSD &= \min\left[-60,\ -60 + K_2(l - l_{ref2})\sqrt{f}\right] \\ US3\text{-}PSD &= -60 \end{aligned}\right\} \text{[dBm/Hz]} \quad (8)$$

・l_{min}ありの時

$$\left.\begin{aligned} US1\text{-}PSD &= \min\left[-60;\ \max\left\{-60 + K_1(l_{min1} - l_{ref1})\sqrt{f};\ -60 + K_1(l - l_{ref1})\sqrt{f}\right\}\right] \\ US2\text{-}PSD &= \min\left[-60;\ \max\left\{-60 + K_2(l_{min2} - l_{ref2})\sqrt{f},\ -60 + K_1(l - l_{ref2})\sqrt{f}\right\}\right] \\ US3\text{-}PSD &= -60 \end{aligned}\right\} \text{[dBm/Hz]}$$

但し

$$\begin{cases} K_1 = 2.719 \times 10^{-5} & [\text{dB}/(\text{m}\sqrt{\text{Hz}})] \\ K_2 = 2.853 \times 10^{-5} & [\text{dB}/(\text{m}\sqrt{\text{Hz}})] \\ l_{ref1} = 375 & [\text{m}] \\ l_{ref2} = 225 & [\text{m}] \\ l_{min1} = 66 & [\text{m}] \\ l_{min2} = 63 & [\text{m}] \end{cases} \quad (9)$$

上記のユーザビル設置VDSLの送信PSDを考慮した時のFTTR-VDSLに許容される送信PSD最大値を図4に示す。

$$\underbrace{FTTP\text{-}VDSL\text{-}PSD(l)}_{\text{図4}} = \underbrace{\text{ユーザビル}VDSL\text{-}PSD(l)}_{\text{式(8)(9)}} + 10\log\underbrace{\left[\gamma(l)\right]}_{\text{式(7)}} \ \text{[dBm/Hz]} \quad (9)$$

1/(2*alpha)= 75.501 (m) at f= US1中心周波数
1/(2*alpha)= 47.5477 (m) at f= US2中心周波数
1/(2*alpha)= 28.7119 (m) at f= US3中心周波数

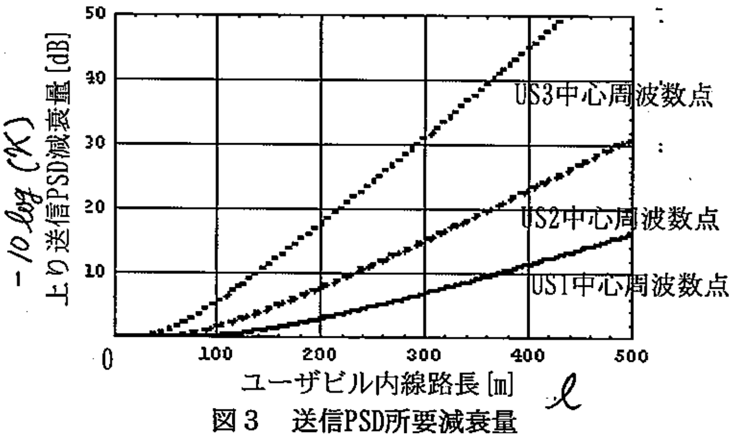

図３　送信PSD所要減衰量

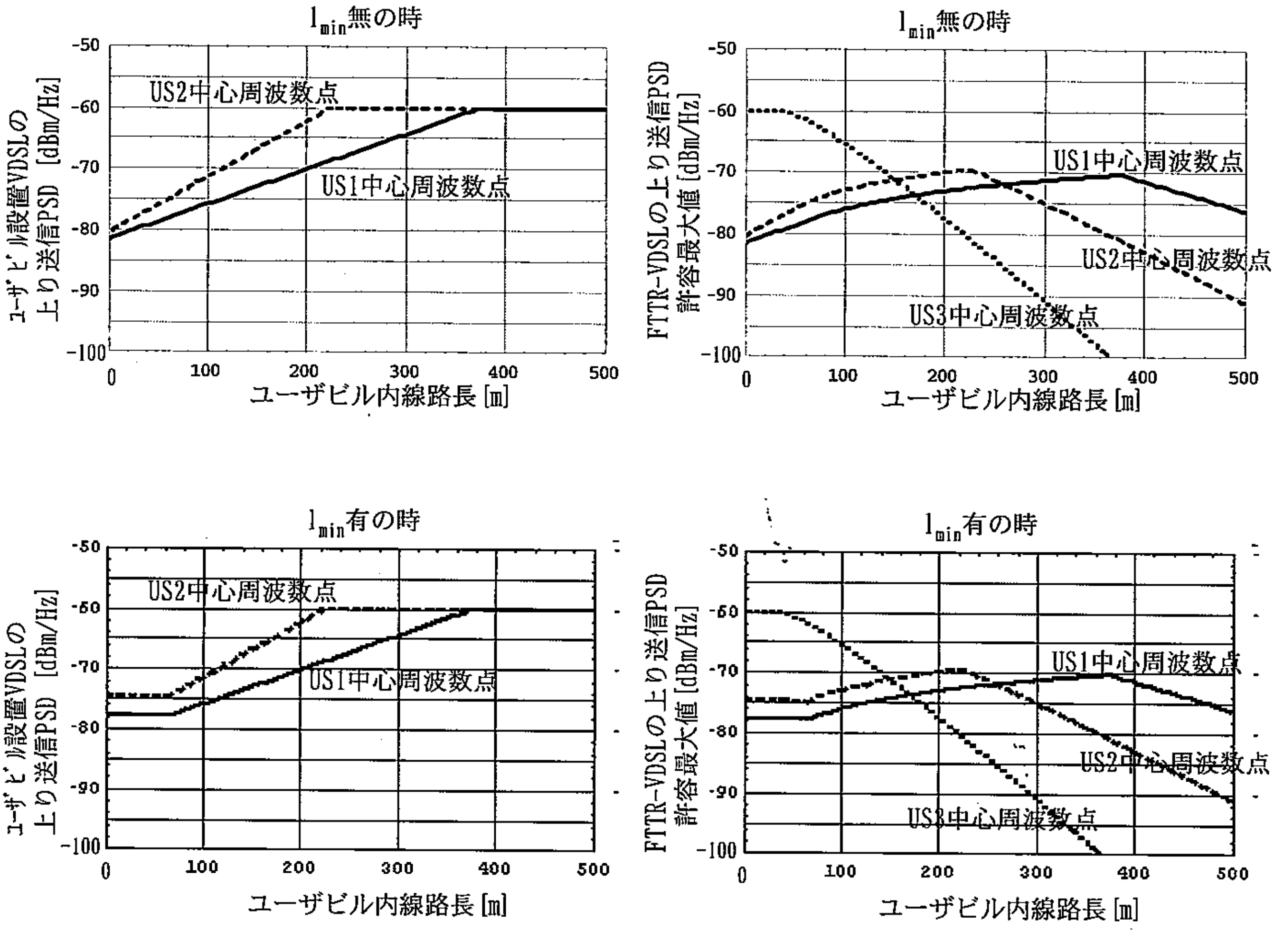

図４　FTTR-VDSLの許容送信PSD最大値

1min無
dr= 0 (m) US1-PSD= -81.5693 (dBm/Hz) US2-PSD= -80.5516 (dBm/Hz) US3-PSD= -60 (dBm/Hz)
dr= 50 (m) US1-PSD= -78.6934 (dBm/Hz) US2-PSD= -75.9902 (dBm/Hz) US3-PSD= -60.8109 (dBm/Hz)
dr= 100 (m) US1-PSD= -76.0063 (dBm/Hz) US2-PSD= -72.9798 (dBm/Hz) US3-PSD= -65.3636 (dBm/Hz)
dr= 150 (m) US1-PSD= -74.2455 (dBm/Hz) US2-PSD= -71.2188 (dBm/Hz) US3-PSD= -71.1657 (dBm/Hz)
dr= 200 (m) US1-PSD= -72.9963 (dBm/Hz) US2-PSD= -69.9693 (dBm/Hz) US3-PSD= -77.4793 (dBm/Hz)
dr= 250 (m) US1-PSD= -72.0274 (dBm/Hz) US2-PSD= -71.2836 (dBm/Hz) US3-PSD= -84.0731 (dBm/Hz)
dr= 300 (m) US1-PSD= -71.2357 (dBm/Hz) US2-PSD= -75.0587 (dBm/Hz) US3-PSD= -90.8443 (dBm/Hz)
dr= 350 (m) US1-PSD= -70.5664 (dBm/Hz) US2-PSD= -78.9562 (dBm/Hz) US3-PSD= -97.7378 (dBm/Hz)
dr= 400 (m) US1-PSD= -71.4246 (dBm/Hz) US2-PSD= -82.9432 (dBm/Hz) US3-PSD= -104.721 (dBm/Hz)
dr= 450 (m) US1-PSD= -73.7892 (dBm/Hz) US2-PSD= -86.9986 (dBm/Hz) US3-PSD= -111.772 (dBm/Hz)
dr= 500 (m) US1-PSD= -76.2077 (dBm/Hz) US2-PSD= -91.108 (dBm/Hz) US3-PSD= -118.878 (dBm/Hz)

1min有
dr= 0 (m) US1-PSD= -77.7731 (dBm/Hz) US2-PSD= -74.7972 (dBm/Hz) US3-PSD= -60 (dBm/Hz)
dr= 50 (m) US1-PSD= -77.7731 (dBm/Hz) US2-PSD= -74.8028 (dBm/Hz) US3-PSD= -60.8109 (dBm/Hz)
dr= 100 (m) US1-PSD= -76.0063 (dBm/Hz) US2-PSD= -72.9798 (dBm/Hz) US3-PSD= -65.3636 (dBm/Hz)
dr= 150 (m) US1-PSD= -74.2455 (dBm/Hz) US2-PSD= -71.2188 (dBm/Hz) US3-PSD= -71.1657 (dBm/Hz)
dr= 200 (m) US1-PSD= -72.9963 (dBm/Hz) US2-PSD= -69.9693 (dBm/Hz) US3-PSD= -77.4793 (dBm/Hz)
dr= 250 (m) US1-PSD= -72.0274 (dBm/Hz) US2-PSD= -71.2836 (dBm/Hz) US3-PSD= -84.0731 (dBm/Hz)
dr= 300 (m) US1-PSD= -71.2357 (dBm/Hz) US2-PSD= -75.0587 (dBm/Hz) US3-PSD= -90.8443 (dBm/Hz)
dr= 350 (m) US1-PSD= -70.5664 (dBm/Hz) US2-PSD= -78.9562 (dBm/Hz) US3-PSD= -97.7378 (dBm/Hz)
dr= 400 (m) US1-PSD= -71.4246 (dBm/Hz) US2-PSD= -82.9432 (dBm/Hz) US3-PSD= -104.721 (dBm/Hz)
dr= 450 (m) US1-PSD= -73.7892 (dBm/Hz) US2-PSD= -86.9986 (dBm/Hz) US3-PSD= -111.772 (dBm/Hz)
dr= 500 (m) US1-PSD= -76.2077 (dBm/Hz) US2-PSD= -91.108 (dBm/Hz) US3-PSD= -118.878 (dBm/Hz)

付録A（参考） 所要減衰量の線路長表現

付録A 式(7)において

$$x \triangleq e^{-2\alpha y}$$

と置くと （x を y[m] 相当の線路減衰と考える）

・$0 \le l < \frac{1}{2\alpha}$ の時

$$x = e^{-2\alpha y} = 1$$

$$\therefore y = 0 \ [m]$$

・$\frac{1}{2\alpha} \le l$ の時

$$x = e^{-2\alpha y} = 2\alpha l \, e^{1-2\alpha l}$$

$$\therefore -2\alpha y = \ln(2\alpha l \, e^{1-\alpha l}) = \ln(2\alpha l) + 1 - 2\alpha l$$

$$\therefore y = \frac{\ln(2\alpha l) + 1 - 2\alpha l}{-2\alpha}$$

$$= l - \frac{1 + \ln(2\alpha l)}{2\alpha}$$

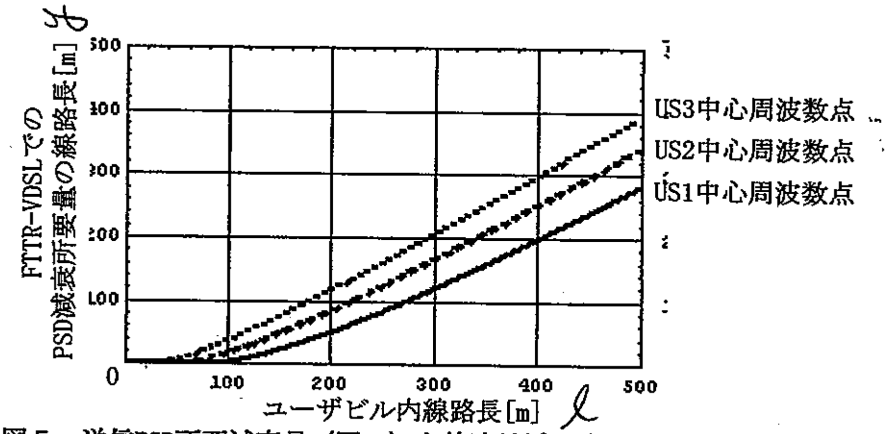

図５　送信PSD所要減衰量（図３）を線路長挿入分で表現した場合